

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO
NICOLE MIGLIORINI MAGAGNIN

CIRCUITOS ELETRÔNICA BÁSICA – M2

Relatório apresentado como requisito parcial para a obtenção da M2 da disciplina de Eletrônica básica do curso de Engenharia de Computação pela Universidade do Vale do Itajaí da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia.

Prof. Walter Antonio Gontijo

Itajaí
2021

1. OBJETIVO

Este relatório tem com objetivo a descrição e implementação dos circuitos apresentados em sala de aula durante a M2 da disciplina de Eletrônica Básica do curso de Engenharia de Computação. Os circuitos devem ter seus valores obtidos por meio de simulação no software Multisim e cálculos teóricos baseados na matéria.

2. INTRODUÇÃO

Transistores são dispositivos semicondutores, feitos com silício ou germânio e usados para amplificar ou atenuar a intensidade da corrente elétrica em circuitos. Eles são um bloco fundamental na construção de circuitos eletrônicos, como chips de computadores e smartphones.

Transistores bipolares não possuem estrutura simétrica e tem suas regiões denominadas n e p e seus pólos são considerados como base, emissor e coletor. Os transistors bipolares podem ser classificados em pnp e nnp .

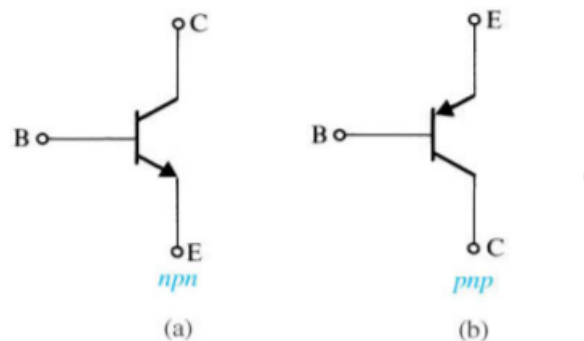


Figura 1 - Ilustração circuitos pnp e npn

Cada uma das junções pode ser polarizada de duas maneiras diferentes, sendo assim, o transistor bipolar possui quatro modos possíveis de operação: Ativa direta, Saturação, Ativa reversa e Corte. Quando está em operação ativa direta, possui boa isolamento e alto ganho, enquanto em ativa reversa, o ganho é baixo e o transistor se torna pouco útil. A saturação é necessária ser evitada, uma vez que o dispositivo fica sem isolamento e o corte é quase um circuito aberto, de corrente desprezível.

Neste relatório são apresentados circuitos com diversos funcionamentos dos transistors bipolares, com seus cálculos, simulações e comparações. Todas as simulações foram realizadas no *software Multisim*.

Figura 3 - Curva do transistor

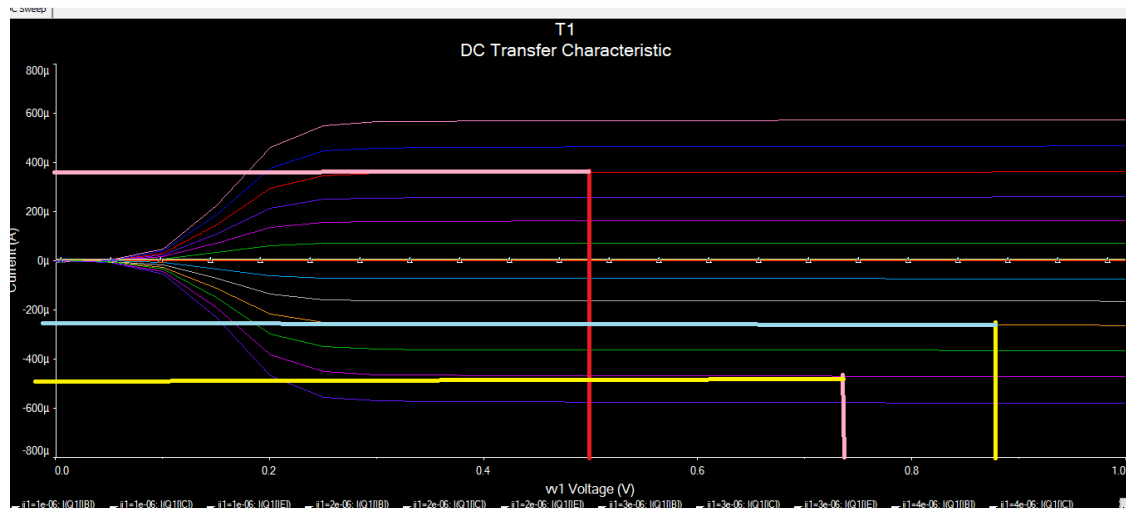


Figura 4 - Retas traçadas na curva

Ponto 1 (vermelha):

$$I_B = 4^{-6} A$$

$$I_C = 0,00038 A$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = 0,000624 A$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{0,00038}{0,000624} = 0,61 A$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0,00038}{4^{-6}} = 1,56 A$$

$$V_{ce} = 0,5 V$$

Ponto 2 (laranja):

$$I_B = 1^{-6} A$$

$$I_C = -0,00021 A$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = 0,99979 A$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{-0,00021}{0,99979} = -0,000021 A$$

$$\beta = \frac{IC}{IB} = \frac{-0,00021}{1^{-6}} = -0,00021 A$$

$$V_{ce} = 0,9 V$$

Ponto 3 (roxo):

$$IB = 2^{-6} A$$

$$IC = -0,0005 A$$

$$IE = IB + IC$$

$$IE = 0,015 A$$

$$\alpha = \frac{IC}{IE} = \frac{-0,0005}{0,015} = -0,033 A$$

$$\beta = \frac{IC}{IB} = \frac{-0,0005}{2^{-6}} = -0,032 A$$

$$V_{ce} = 0,75 V$$

$$Bac = \frac{\Delta IC}{\Delta IB} = \frac{0,00038 - (-0,0005)}{4^{-6} - 2^{-6}} = \frac{0,00088}{-0,0154} = -0,057$$

- **FZT788B**

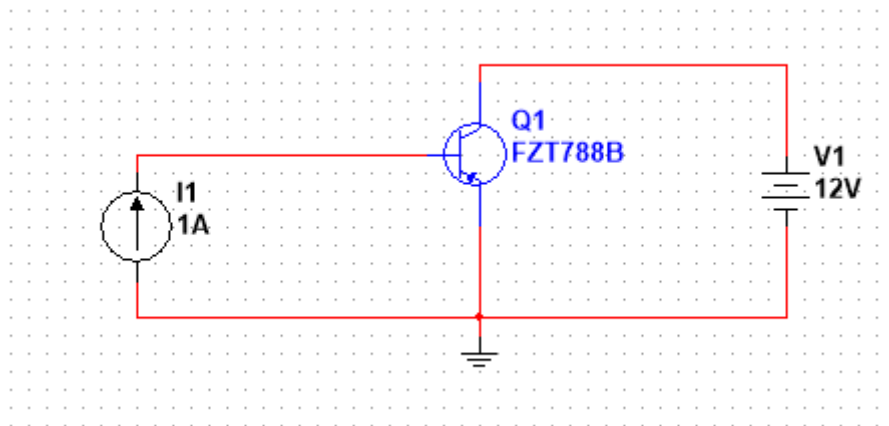


Figura 5 - Circuito simulado

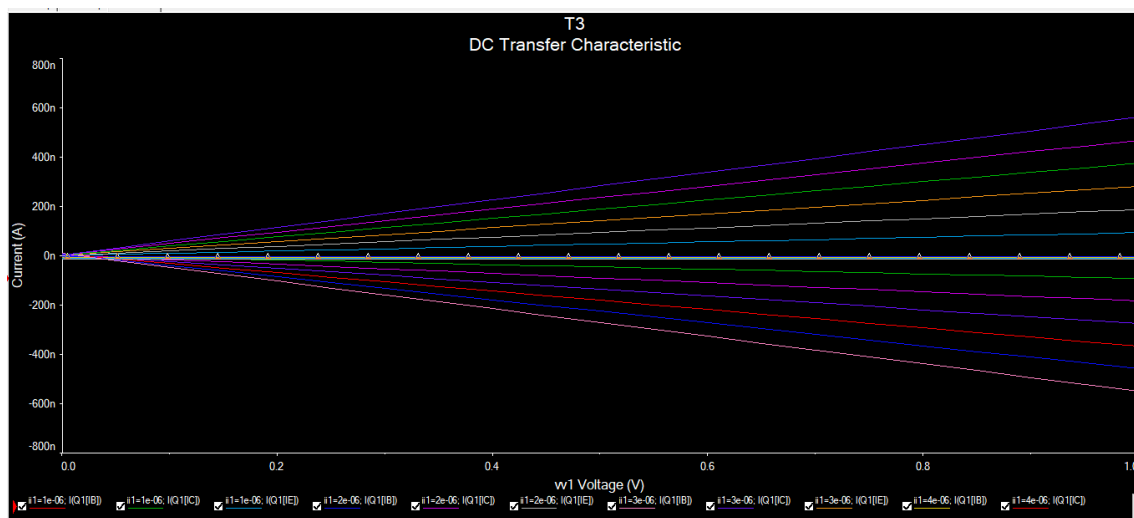


Figura 6 - Curvas do transistor

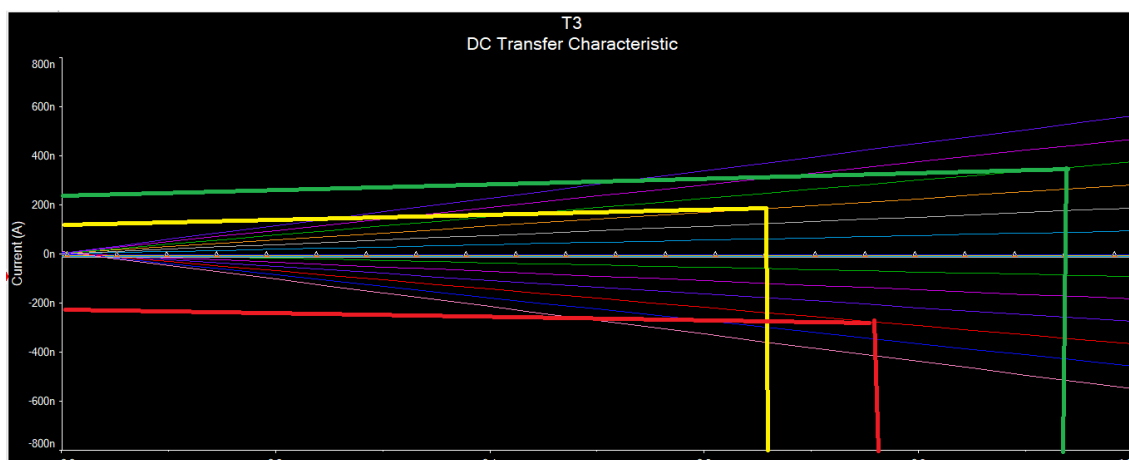


Figura 7 - Retas traçadas na curva do transistor

Ponto 1 (verde):

$$I_B = 1^{-6} A$$

$$I_C = 0,00022 A$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = 1,00022 A$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{0,00022}{1,00022} = 0,00022 A$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0,00022}{1^{-6}} = 0,00022 A$$

$$V_{ce} = 0,9 V$$

Ponto 2(amarelo):

$$I_B = 4^{-6} A$$

$$I_C = 0,0001 A$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = 0,000344 A$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{0,0001}{0,000344} = 0,29 A$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0,0001}{4^{-6}} = 0,41 A$$

$$V_{ce} = 0,65 V$$

Ponto 3(vermelho):

$$I_B = 4^{-6} A$$

$$I_C = -0,0002 A$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = 0,000044 A$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{-0,0002}{0,000044} = -4,54 A$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{-0,0002}{4^{-6}} = -0,82 \text{ A}$$

$$V_{ce} = 0,75 \text{ V}$$

$$Bac = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{0,00022 - (-0,0002)}{1^{-6} - 4^{-6}} = 0,000176$$

3.2-1 – ANÁLISE DE CIRCUITOS – POLARIZAÇÃO FIXA

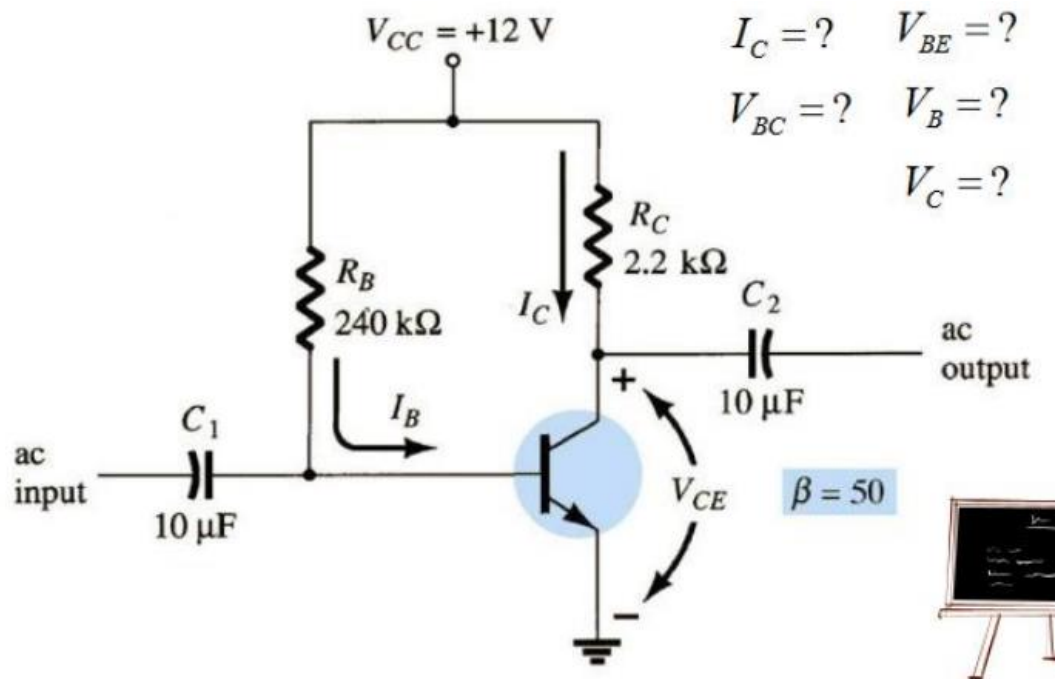


Figura 8 - Circuito proposto

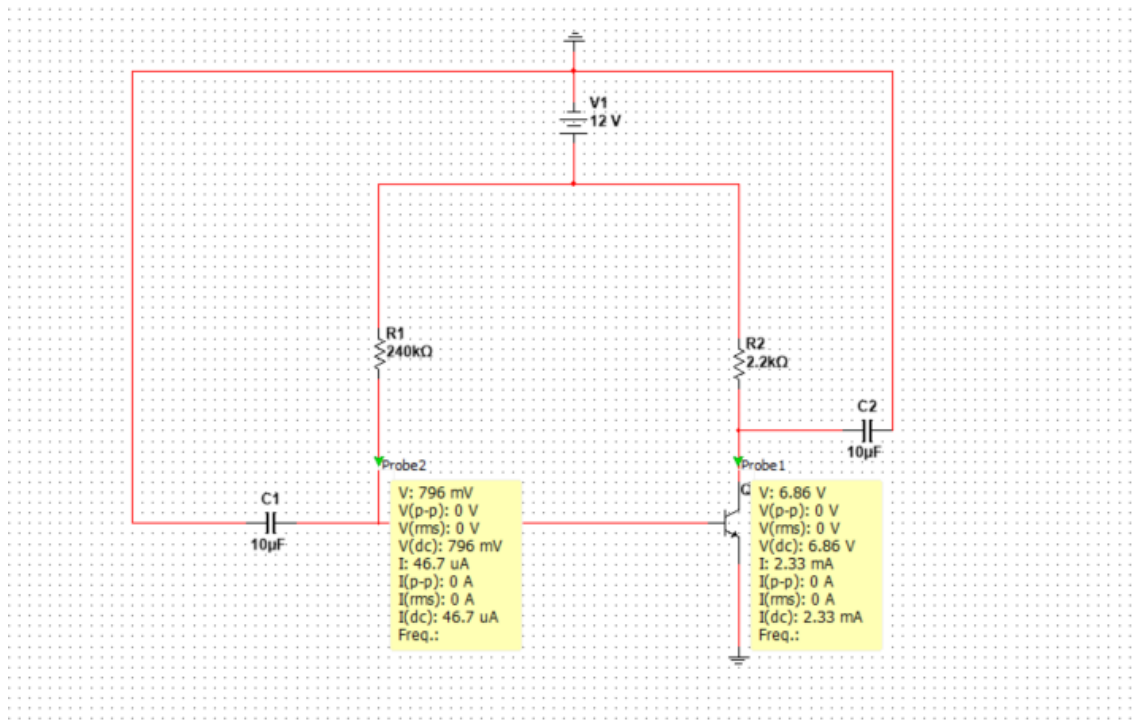


Figura 9 - Circuito simulado

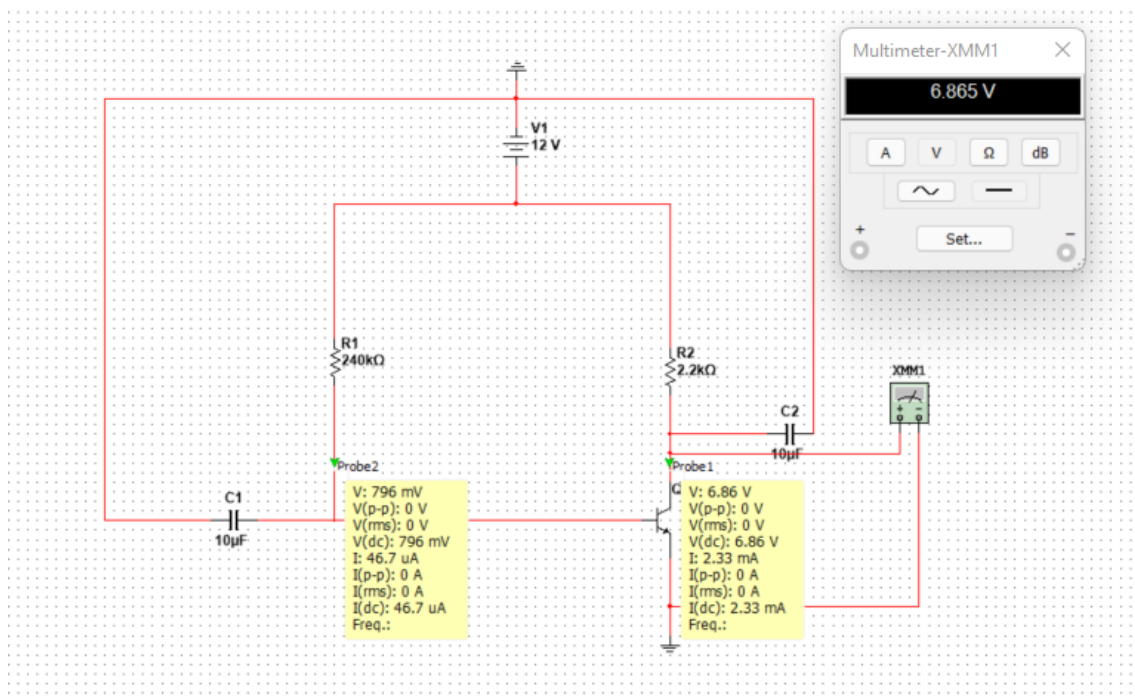


Figura 10 - Circuito medurado

CÁLCULOS

$$I_B = (V_{CC} - V_{BE})/R_B$$

$$I_B = (12 - 0,7)/240k = 47 \mu A$$

$$I_C = 50 * 47 \mu A = 2,35 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C * R_C$$

$$V_{CE} = 12 - 2,35 mA * 2200$$

$$V_{CE} = 6,83 V$$

$$V_{BE} = V_B$$

$$V_B = 0,7 V$$

$$V_{BC} = 0,7 - 6,83$$

$$V_{BC} = - 6,13 V$$

Componente	Valor calculado	Valor simulado
IB	47 μA	46,7 μA
IC	2,35 mA	2,33 mA
VCE	6,85 V	6,85 V
VBE	0,7 V	0,7 V
VB	0,7 V	0,7 V

3.2 -2 – RETA DE CARGA

Utilize o método da reta de carga e analise o circuito, trace a reta de carga sobre a curva característica do TBJ e obtenha do gráfico (curva característica e reta de carga) o ponto de operação do TBJ para diferentes valores de V_I . Por exemplo, 0,8V; 2,7V, 12V e 15V

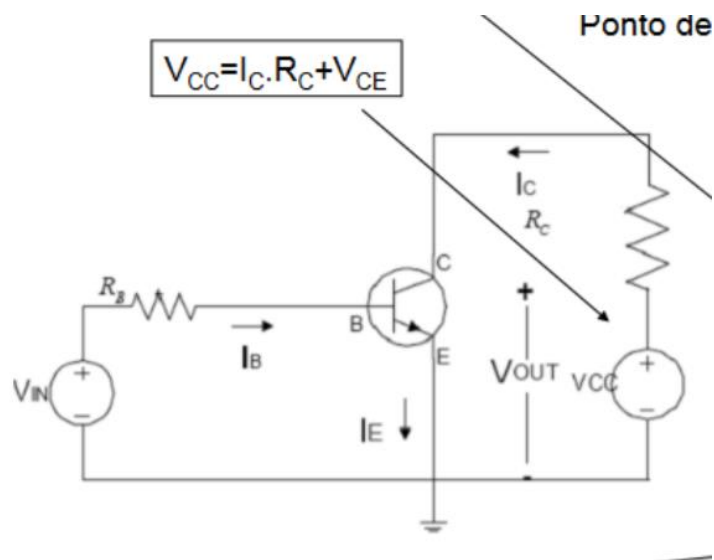


Figura 11 - Circuito proposto

Para $V_i = 0,8 \text{ V}$:

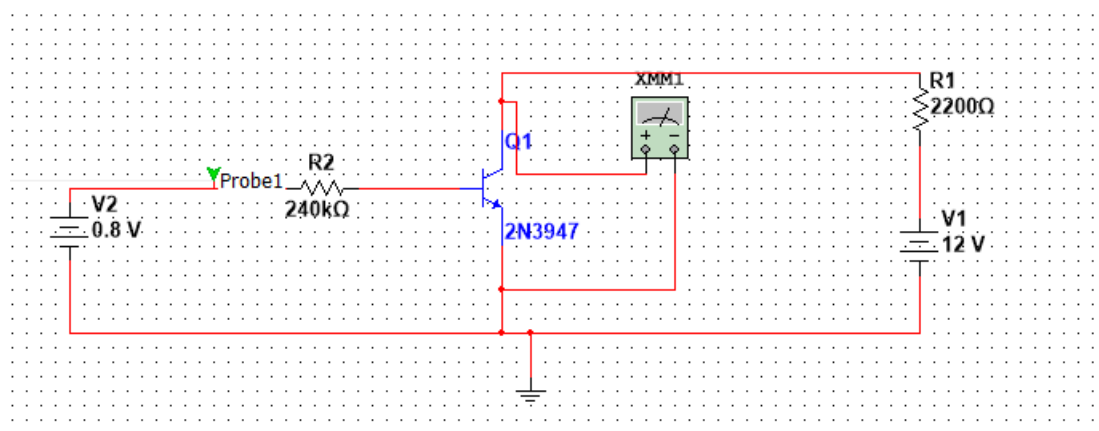


Figura 12 - Circuito simulado

Com o circuito simulado, foi descoberto o valor de IB:

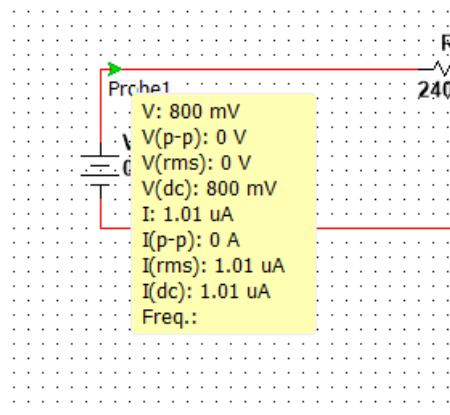


Figura 13 - IB

$$V_{CE} = 0$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12}{2200} = 5,45mA$$

$$V_{CC} = V_{CE}$$

$$V_{CE} = 12V$$

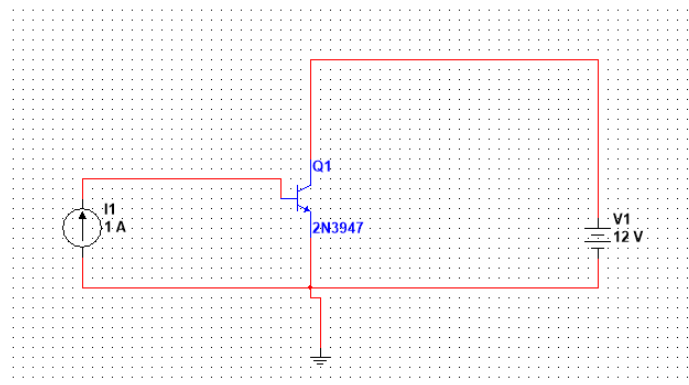


Figura 14 - Circuito para obtenção das curvas

$$VCE = 11,967 V$$

$$VC = 12 - IC * RC$$

$$VC = VCE$$

Valor	Calculado	Simulado
IB	0,416 μA	1,01 μA
IC	15 μA	312 μA
VCE	11,9 V	11,3 V
VBE	0,7 V	0,58 V
VC	11,9 V	11,3 V

Para $V_i = 2,7 V$:

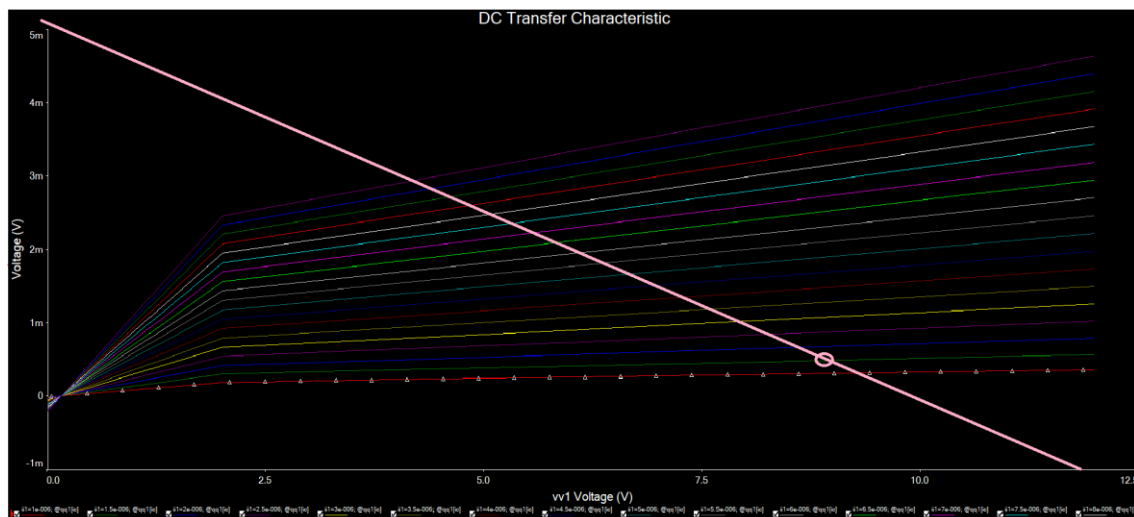
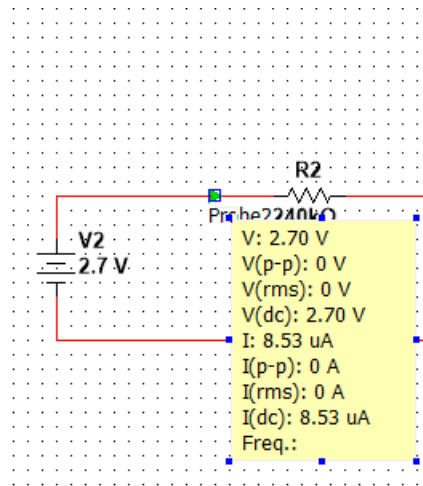


Figura 17 - Reta com ponto quiescente para $V = 2,7$

Para este valor de V_i , o valor simulado de I_B foi obtido através da seguinte mensuração:



$$I_B = \frac{2,7 - 0,7}{240000} = 8,3 \mu A$$

$$I_C \text{ (pela reta de carga)} = 25 \mu A$$

$$V_{CE} = 12 - 2200 * 25 \mu A$$

$$V_{CE} = 11,967 V$$

$$V_C = 12 - I_C * R_C$$

$$V_C = V_{CE}$$

Valor	Calculado	Simulado
I_B	$8,3 \mu A$	$8,53 \mu A$
I_C	$15 \mu A$	$2,8 mA$
V_{CE}	$11,9 V$	$5,85 V$
V_{BE}	$0,7 V$	$0,65 V$
V_C	$11,9 V$	$5,85 V$

3.3-1 – TRANSISTOR OPERANDO COMO CHAVE

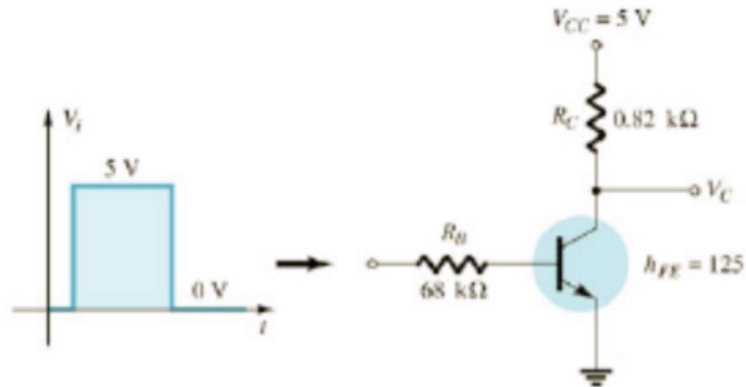


Figura 18 - Circuito proposto

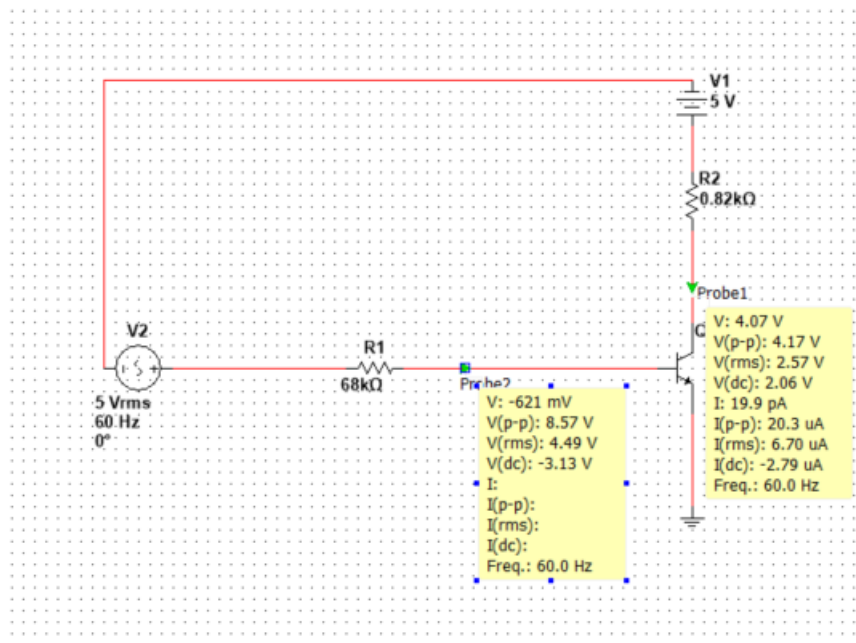


Figura 19 - Circuito simulado

CÁLCULOS

$$V_i = I_B * R_B + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_i - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0,7}{68k} = 63,2 \mu A$$

$$I_C = 125 * I_B = 7,8 mA$$

$$V_B = V_i - I_B * R_B$$

$$V_B = 5 - 63,2 \mu A * 68000$$

$$V_B = 0,7 V$$

$$V_E = V_{BE} - 0,7$$

$$V_E = 0 V$$

$$V_C = V_{CC} - I_C * R_C$$

$$V_C = 5 - (7,8mA * 820)$$

$$V_C = -1,39 V$$

$$I_{C sat} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{5}{820} = 6,09 mA$$

Vi(V)	IB(uA)	IC(mA)	VB(V)	VE(V)	VC(V)	R_OPE
0	0	0	0	0	0	CORTE
5	63,2	7,8	0,7 V	0	0	SATURAÇÃO

Tanto no circuito simulado como nos cálculos é possível observar valores inesperados e maiores ou menores do que o imaginado, isso se deve as operações de corte e saturação, ocorridas no transistor.

3.3-2 POLARIZAÇÃO DO EMISSOR

Exercício:

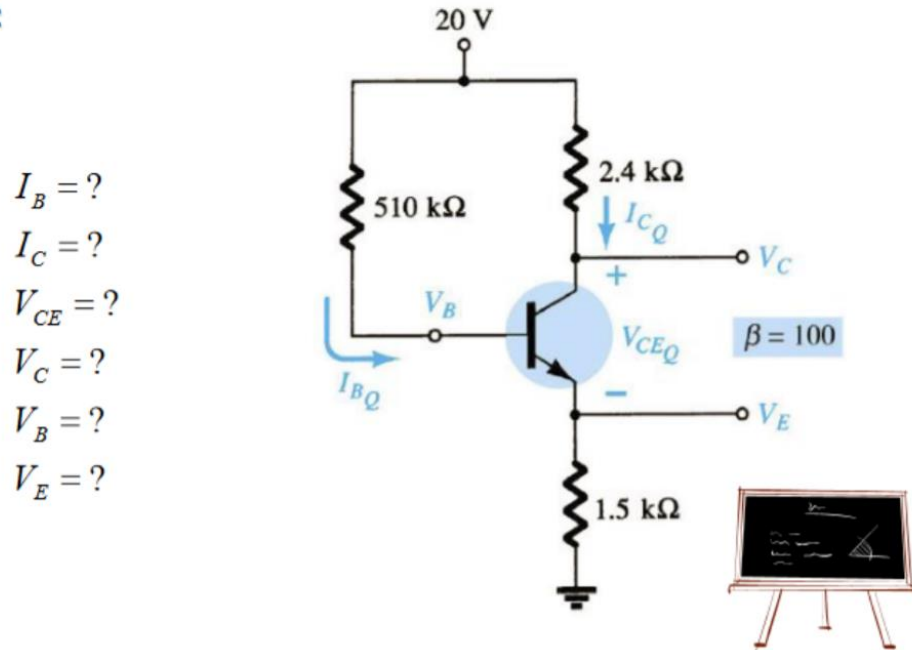


Figura 20 - Circuito proposto

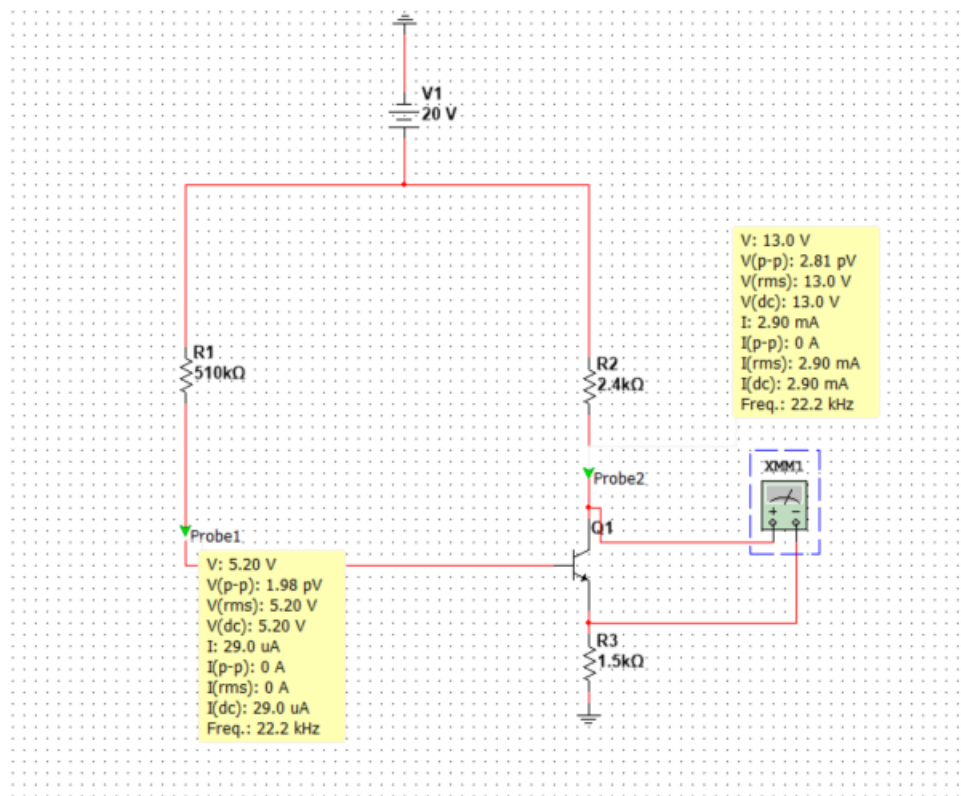


Figura 21 - Circuito simulado

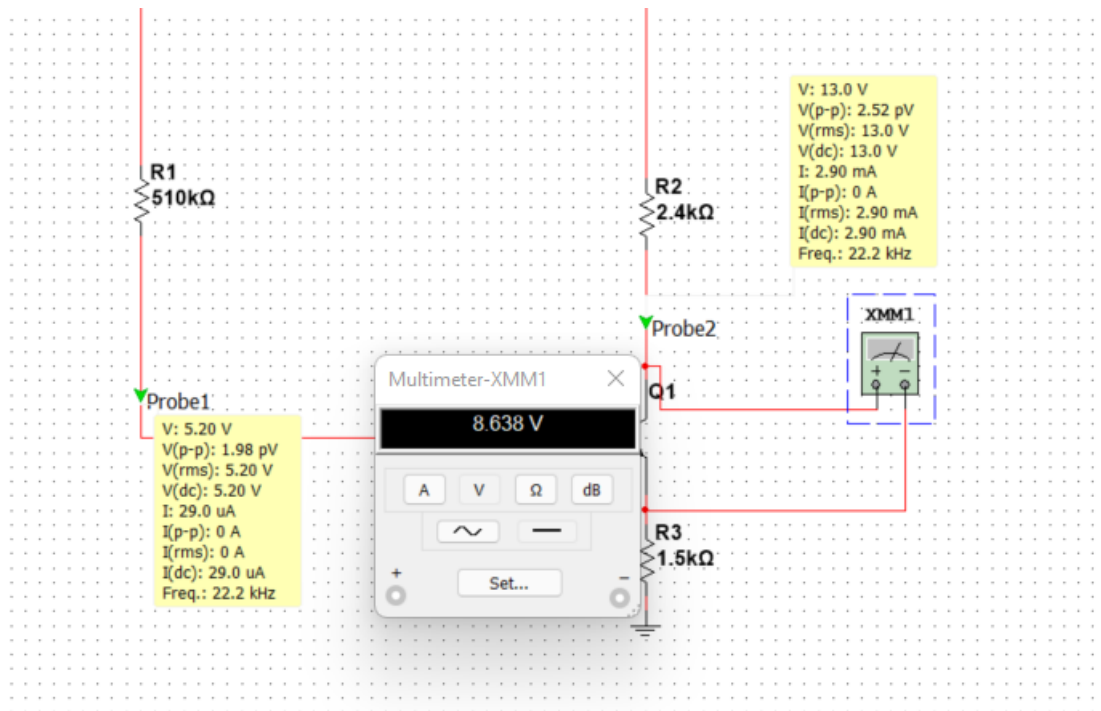


Figura 22 - Mensuração IC, VC, IB, VB e VCE

CÁLCULOS

$$VCC - IB * RB - VBE - IE * RE = 0$$

$$IE = (\beta + 1) * IB$$

$$VCC - IB * RB - VBE - (\beta + 1) * IB * RE = 0$$

$$IB = \frac{VCC - VBE}{RB + (\beta + 1) * RE}$$

$$IB = \frac{20 - 0,7}{510k + (\beta + 1) * 1,5k} = \frac{19,3}{510k + (\beta + 1) * 1,5k} = 29 \mu A$$

$$VB = VCC - IB * RB$$

$$VB = 20 - 29 \mu A * 510000 = 5,21 V$$

$$IC = 100 * 29 \mu A = 2,9 mA$$

$$IC \cong IE$$

$$VE = VB - VBE$$

$$V_E = 5,21 - 0,7$$

$$V_E = 4,51 \text{ V}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C * R_C$$

$$V_C = 20 - 2,9 \text{ mA} * 2400$$

$$V_C = 13,04 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C * (R_C + R_E)$$

$$V_{CE} = 20 - 2,9 \text{ mA} * (3900)$$

$$V_{CE} = 8,69 \text{ V}$$

Valor	Calculado	Simulado
IB	29 μA	29 μA
IC	2,9 mA	2,9 mA
IE	2,9 mA	2,9 mA
VC	13,04 V	13 V
VB	5,21 V	5,2 V
VE	4,51 V	4,4 V
VCE	8,69 V	8,638 V

3.3-3 – POLARIZAÇÃO POR DIVISOR DE TENSÃO

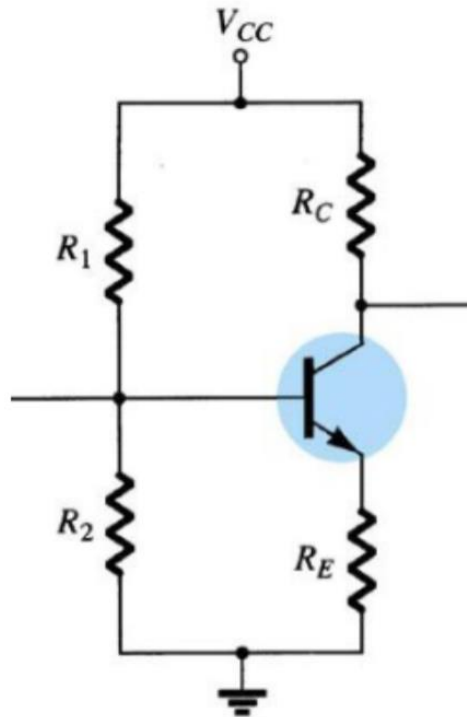


Figura 23 - Circuito proposto

Considerare $V_{CC} = 22V$, $R_1 = 39K$, $R_2 = 3k9$, $R_C = 10k$, $R_E = 1k5$, $B = h_{fe} = 140$. Calcole: I_B , I_C , V_B , V_E , V_C e V_{CE} .

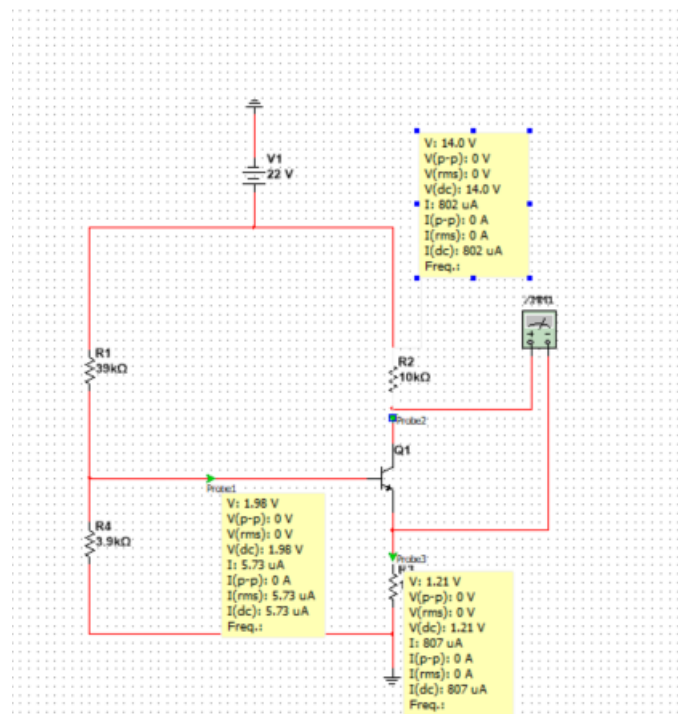


Figura 24 - Circuito simulato

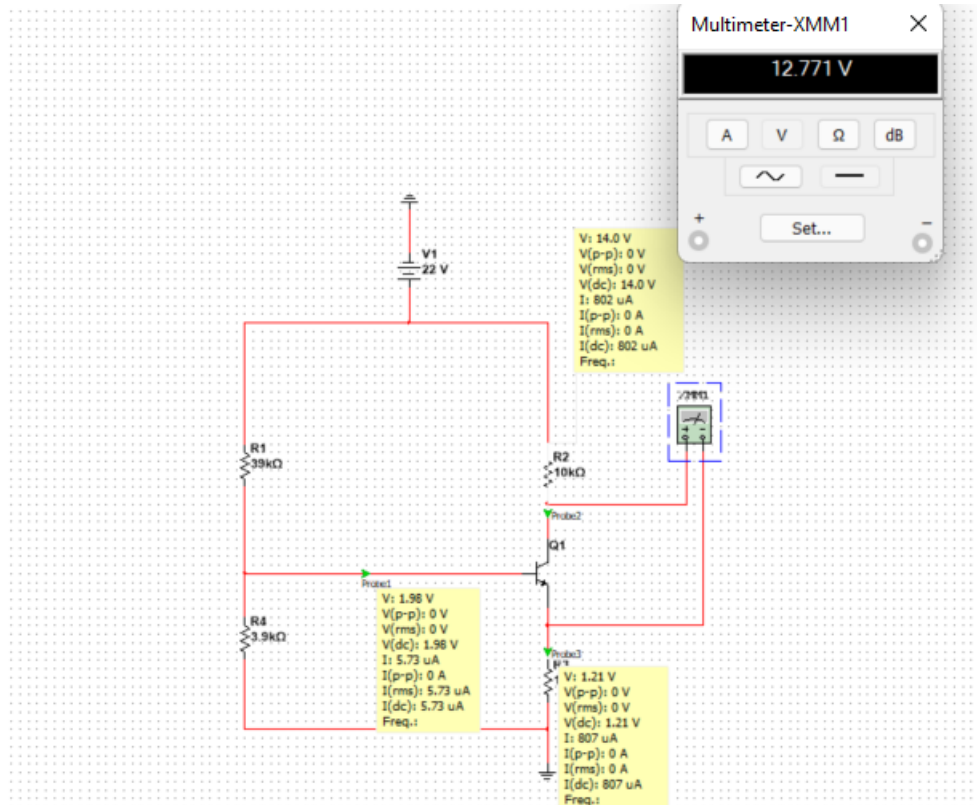


Figura 25 - Circuito medido

CÁLCULOS

$$R_{th} = \frac{R1}{R2} = 10$$

$$E_{th} = \frac{R2}{R2 + R1} * VCC$$

$$E_{th} = \frac{3,9k}{3,9k + 39k} * 22 = 2$$

$$E_{th} - I_B * R_{th} - V_{BE} - I_E * R_E = 0$$

$$E_{th} - I_B * R_{th} - V_{BE} - (\beta + 1) * I_B * R_E = 0$$

$$I_B = \frac{E_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1) * R_E} = \frac{2 - 0,7}{10 + (\beta + 1) * 1500}$$

$$I_B = 6,14 \mu A$$

$$V_B = E_{th} - I_B * R_{th}$$

$$V_B = 2 - 6,14 \mu A * 10$$

$$V_B = 1,99 V$$

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

$$V_E = 1,29 V$$

$$I_C = 140 * 6,14 \mu A = 0,86 mA$$

$$V_B = V_{CC} - I_B * R_B$$

$$V_B = 22 - 6,14 \mu A * 39k = 20,76 V$$

$$V_{CC} - I_C * R_C - V_{CE} - I_E * R_E = 0$$

$$I_C \cong I_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C * (R_C + R_E)$$

$$V_{CE} = 22 - 0,86mA * (10000 + 1500)$$

$$V_{CE} = 12,11 V$$

$$V_C = V_{CC} - I_C * R_C$$

$$V_C = 22 - 0,86 mA * 10000$$

$$V_C = 13,4 V$$

Valores	Calculado	Simulado
IB	6,14 μA	5,73 μA
IC	0,86 mA	0,807 mA
VB	1,99 V	1,98 V
VC	13,4 V	14 V
VCE	12,11 V	12,77 V

3.3 – 4 ANÁLISE SIMPLIFICADA

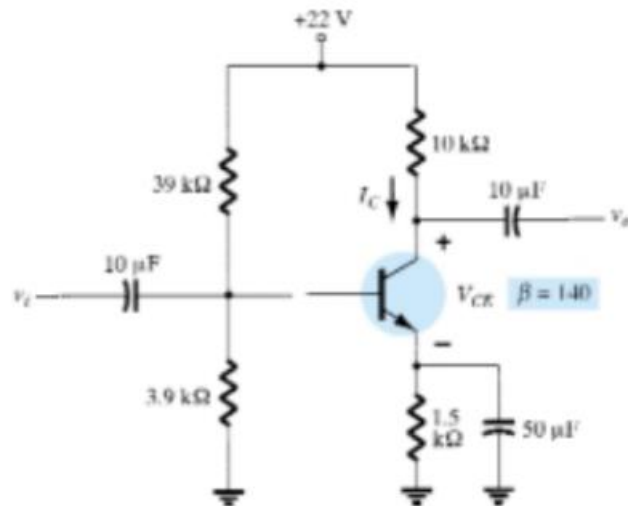


Figura 26 - Circuito proposto

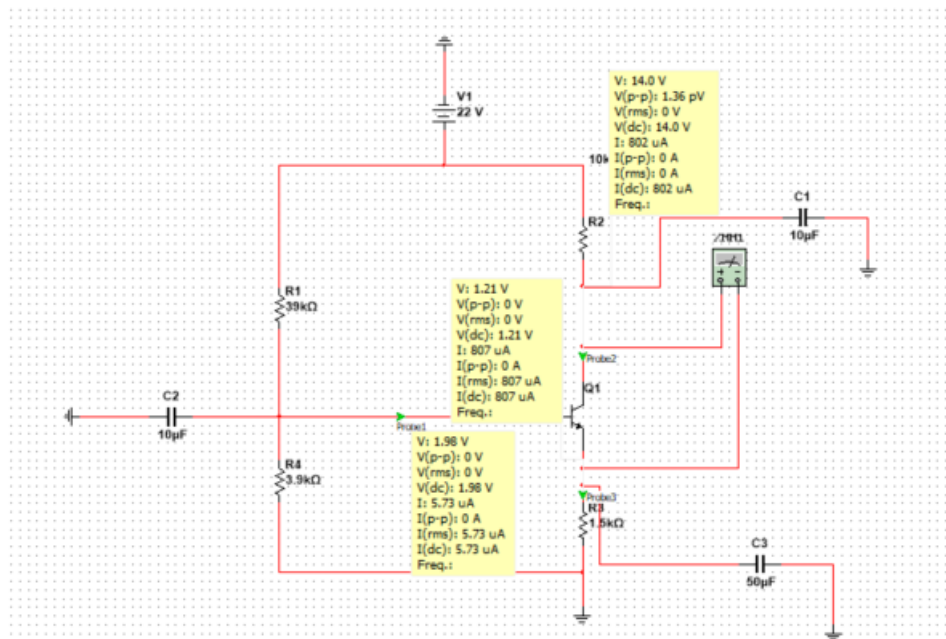


Figura 27 - Circuito simulado

CÁLCULOS

$$V_B = \frac{R_2 * V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{3,9k * 22}{42900} = 2V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1,3V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1,3}{1500} = 0,860 \text{ mA}$$

$$I_C \cong I_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C * (R_C + R_E)$$

$$V_{CE} = 22 - 0,860 \text{ mA} * (11500)$$

$$V_{CE} = 12,11 \text{ V}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C * R_C$$

$$V_C = 22 - 0,86 \text{ mA} * 10000$$

$$V_C = 13,4 \text{ V}$$

Valores	Calculado	Simulado
IB	6,14 μA	5,73 μA
IC	0,86 mA	0,807 mA
VB	2 V	1,98 V
VC	13,4 V	14 V
VCE	12,11 V	12,77 V

3.4 – 5 – POLARIZAÇÃO POR REALIMENTAÇÃO DE TENSÃO

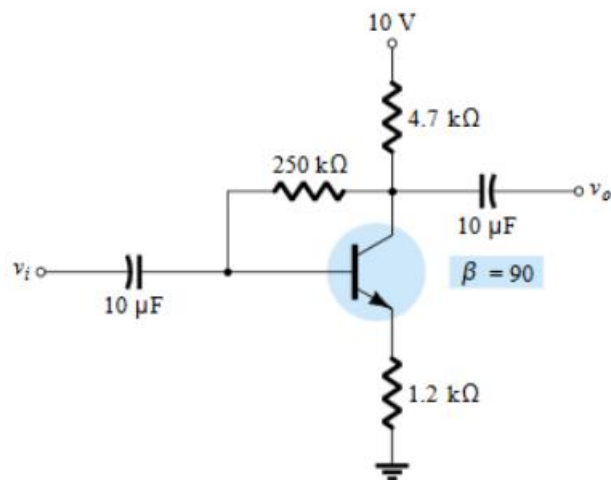


Figura 28 - Circuito proposto

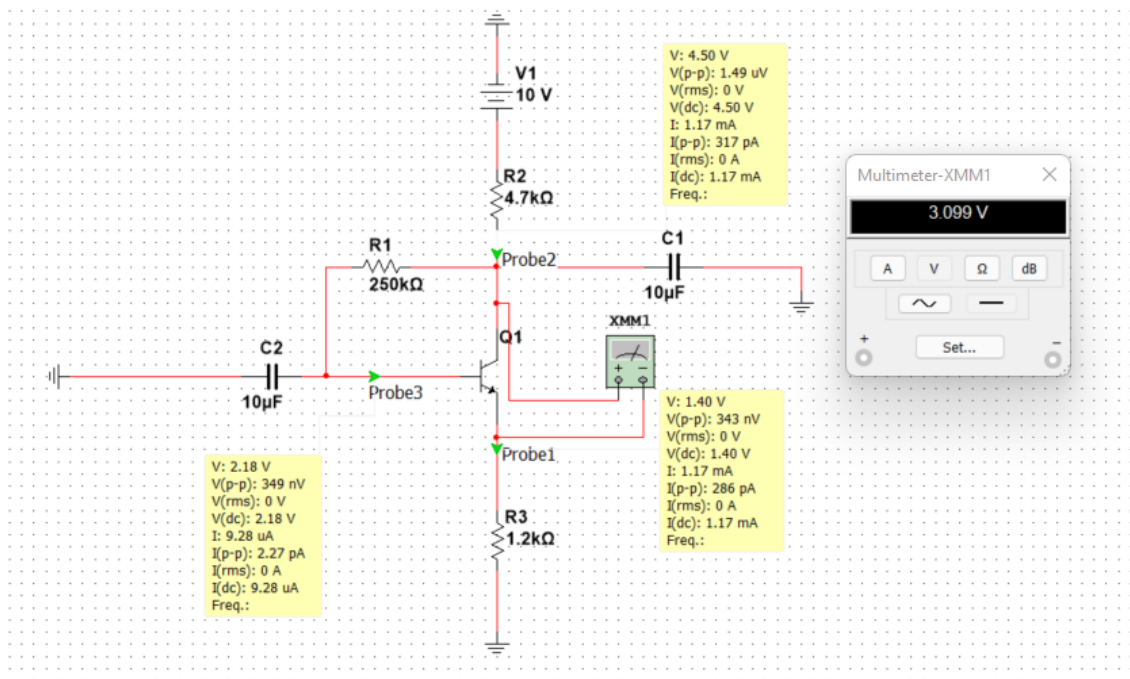


Figura 29 - Circuito simulado e mensurado

CÁLCULOS

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)} = \frac{9,3}{250k + \beta(4,7k + 1,2k)} = 11,9 \mu A$$

$$I_C = 90 * 11,9 \mu A = 1,07 mA$$

$$V_B = V_{CC} - I_C * R_C - I_B * R_B$$

$$V_B = 10 - 1,07mA * 4,7k - 11,9 \mu A * 250k$$

$$V_B = 1,996 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C * (R_C + R_E)$$

$$V_{CE} = 10 - 1,07 \text{ mA} * (5900)$$

$$V_{CE} = 3,687 \text{ V}$$

$$V_C = 10 - I_C * R_C$$

$$V_C = 10 - 1,07 \text{ mA} * 4,7 \text{ k}$$

$$V_C = 4,971 \text{ V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1,299 \text{ V}$$

Valores	Calculado	Simulado
IB	11,9 μA	9,28 μA
IC	1,07 mA	1,17 mA
VB	1,996 V	2,18 V
VC	4,971 V	4,5 V
VCE	3,687 V	3,1 V
VE	1,299 V	1,4 V

4. CONCLUSÃO

Com este relatório, pode-se ter um complemento dos ensinamentos passados em sala de aula, assim como um melhor entendimento sobre o funcionamento de transistores em diversas situações como circuitos de realimentação, circuitos *pnp* e *nnp*, análises simplificadas, entre outras situações.

As simulações no software *Multisim* auxiliaram a tomada de conclusões, mostrando por meio de mensurações resultados semelhantes aos cálculos realizados.

5. REFERÊNCIAS

KOERICH, Alessandro L.. **Transistores Bipolares de Junção**. 2021. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/professor/36/TE214/BIPOLAR-Eletronica-P1.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

HELERBROCK, Rafael. "**Transistor**"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/transistor.htm>. Acesso em 15 de novembro de 2021.